

В отличие от серийных АРЗ, аппаратура МРЗ-Н1 низковольтная и обладает большим потреблением по току из-за навигационного приемника. Климатические испытания показали, что разработанный модуль питания с тремя сухими батарейками типа АА, обеспечивает стабилизированное питание мощностью не менее 1.4 Вт в течение 5.5 ч при температуре окружающей среды АРЗ – 70 °С.

В результате выполненных работ впервые в Российской Федерации создан навигационный АРЗ с современным цифровым радиоканалом и с техническими характеристиками, превосходящими отечественные АРЗ радиолокационных СР.

### **Литература**

1. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС / Под. ред. В.Н. Харисова, А.И. Петрова, В.А. Болдина. – 2-е изд. исправ. – М.: ИПРЖР, 1999.
2. Иванов В.Э. Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств / В.Э. Иванов, М.Б. Фридзон, С.П. Ессяк; под ред. В.Э. Иванова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 596 с. – ISBN 5-7691-1513-0.
3. Иванов В.Э., Плохих О.В. Некоторые результаты разработки системы радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных платформ GPS-ГЛОНАСС. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. Санкт-Петербург: 2009, вып. 6 (тематический выпуск «Широкополосные сигналы и системы»), с. 66-74. ISSN 1993-8985.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО РАДИОЗОНДА МРЗ-Н1**

*О.В. Плохих, В.Э. Иванов*

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

### **RESEARCH OF MRZ-N1 NAVIGATIONAL RADIOSONDE MEASURING SYSTEM**

*O. V. Plokhikh, V. E. Ivanov*

К аппаратуре аэрологического радиозонда (АРЗ) предъявляются особые требования, связанные с условиями его эксплуатации. АРЗ используется в качестве телеметрического средства измерений параметров атмосферы, функционирующего в сложных климатических условиях, изменяющихся в широких пределах: температура окружающей среды от – 90 до + 60°С; относительная влажность воздуха от 5 до 98 %; атмосферное давление от 0.2 до 110 кПа [1]. Далее рассмотрены ключевые вопросы моделирования и экспериментальных исследований, выполненных в ходе разработки МРЗ-Н1.

Структурная схема АРЗ МРЗ-Н1 состоит из базового модуля, навигационного модуля приема сигналов СРНС ГЛОНАСС/GPS, модуля передатчика, модуля питания и узла датчиков. Можно выделить наиболее ответственные элементы измерительной системы АРЗ: узел датчиков (конструкция, типы датчиков, метрология и калибровка); измерительная схема, включающая ИП и схему аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (схема, конструкция, линейность преобразования и методика калибровки); цифровой вычислитель–контроллер (производительность и быстродействие, необходимая периферия, низкое энергопотребление, достаточный объем памяти, низкая стоимость); корпус и компоновка конструкции.

Узел датчиков использован от серийного АРЗ типа МРЗ-3 с терморезистором ММТ-1 и датчиком влажности НН-5030. Параллельно прорабатывалась конструкция АРЗ с датчиками других типов, монтируемых на плату–держатель (рис. 1).

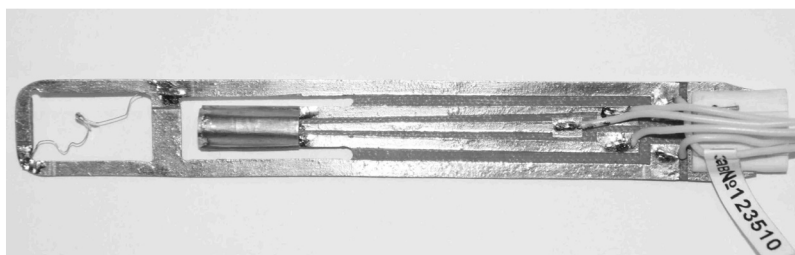


Рис. 5

В измерительную схему АРЗ входит измерительный преобразователь (ИП), АЦП и таймерная подсистема микроконтроллера базового модуля, а также элементы фильтрации и согласования. Период сигнала ИП измеряется таймерным модулем микроконтроллера с частотой заполнения 70 МГц и кратковременной нестабильностью порядка  $10^{-8}$ . Поэтому на интервале 0,5 секунды случайная составляющая относительной ошибки измерения периода ИП не превышает  $5 \cdot 10^{-6} \%$ .

ИП, преобразующий сопротивление ППТ в период сигнала прямоугольной формы, работает по принципу разvertyвающего преобразования [2]. Схема ИП промоделирована в программном пакете Multisim. Затем исследованы характеристики физического макета ИП. Период выходного прямоугольного сигнала ИП измерялся платой сбора данных NI PCI-6251 с частотой заполнения 80 МГц. Статистическая обработка выполнялась разработанной в LabVIEW программой, вычисляющей среднее значение и стандартное отклонение периода, производящей построение гистограммы распределения по текущей выборке фиксированной длины и по всем измерениям. На рис. 2 показаны гистограммы распределения периода опорного сигнала преобразователя серийного радиозонда (рис. 2, а, б), построенные по одной выборке длиной 300 значений (рис. 2, а) и по 200 000 измерениям (рис. 2, б) и аналогичные гистограммы для ИП МРЗ-Н1 (рис. 2, в, г).

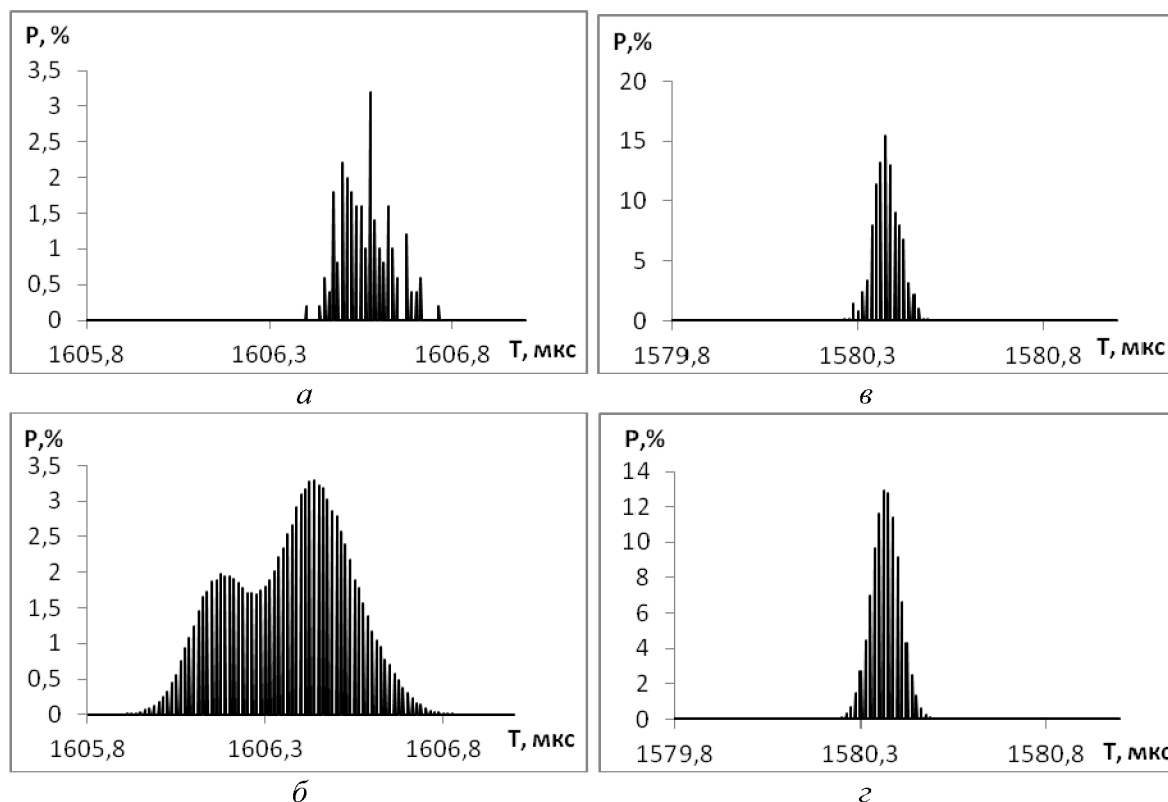


Рис. 6

Важной характеристикой ИП является высокая стабильность преобразования или низкая дисперсия выходного параметра. Шумы преобразователя и источника питания обычно приводят к нормальному распределению периода выходного сигнала. Исследования показали, что стандартное относительное отклонение периода разработанного ИП (в нормальных условиях) не превышает 0.003 %.

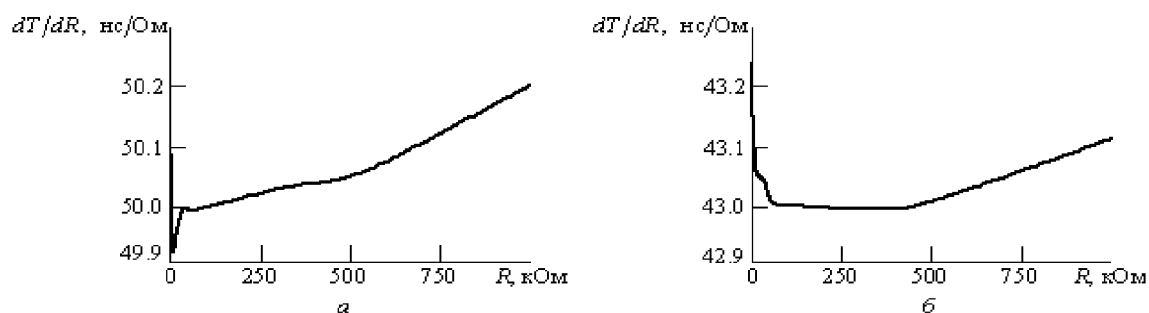


Рис. 7

На ошибку измерения сопротивления датчика температуры влияет точность аппроксимации функции преобразования ИП сопротивления в период сигнала. Функция преобразования ИП серийных АРЗ принимается линейной и определяется двумя коэффициентами, определяемыми на этапе калибровки ИП по двум прецизионным сопротивлениям номиналом 4.3 и 62 кОм. В ходе исследований измерены функции преобразования ИП на нескольких образцах разной конструкции, в том числе серийных АРЗ. На рис. 3 показаны зависимости производной периода ИП по сопротивлению  $(dT/dR)(R)$  для серийного АРЗ МРЗ-3АК1 (рис. 3, а) и ИП МРЗ-Н1 (рис. 3, б). Нелинейность начальной области характеристики ИП (до 10 кОм) вносит наибольшую ошибку в измерение температуры, так как в этом диапазоне коэффициент температурного сопротивления датчика температуры минимален. Наличие таких участков, по-видимому, объясняется электромагнитными наводками на измерительную схему и паразитными емкостью и индуктивностью подключаемого к ИП блока контрольных сопротивлений. Данные ошибки не превышают 0,05 °С, при необходимости их можно скомпенсировать, усложнив методику калибровки.

Исследовалось влияние температуры окружающей среды на работу ИП. Установлено, что в зависимости от конструкции платы ИП в широких пределах изменяется время реакции на скачок температуры. Стабилизация выходного сигнала после скачкообразного изменения температуры с +20 до +70 °С варьировалась, в зависимости от конструкции и особенностей схемы ИП, от 15 до 100 мин. Исследования влияния температуры на функцию преобразования показали, что нагрев и охлаждение ИП приводят к предсказуемому изменению крутизны преобразования, вызывая дополнительную ошибку измерения. На рис. 4 показаны зависимости  $(dT/dR)(R)$  при разной температуре окружающей среды. Этот эффект

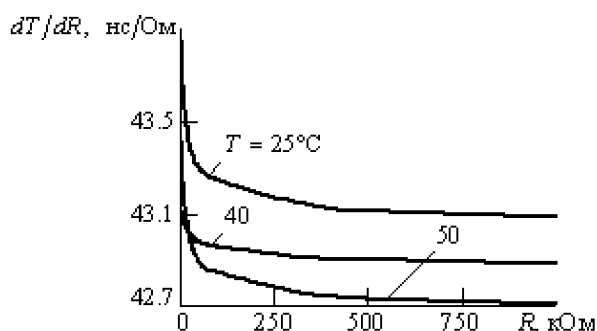


Рис. 8

можно скомпенсировать дополнительной температурной калибровкой ИП. Основным режим работы АРЗ – температура окружающего воздуха ниже 25 °С. Охлаждение до минус 40 °С приводит к ошибке порядка 0,05 °С.

Для обеспечения заданной точности измерения сопротивления ППТ, опорное сопротивление и емкость ИП должны иметь высокую стабильность. Относительная температурная стабильность используемых в ИП опорных сопротивлений  $\pm 25 \cdot 10^{-6}$  1/°С, емкости –  $\pm 30 \cdot 10^{-6}$  1/°С.

При проектировании измерительного преобразователя одной из важных решаемых задач была защита ИП от шумов и помех, создаваемых соседними цепями, модулями и внешним электромагнитным излучением (ЭМИ). Аналогичная задача решалась и для цепи передачи выходного сигнала ППВ на АЦП, но здесь ситуация не такая критическая, как со схемой ИП. Основные источники помех для ИП: микропроцессор (тактовая частота 70 МГц), кварцевый резонатор 12 МГц, передатчик, модуль питания (формирует импульсную помеху 1...3 МГц), цифровые межмодульные сигналы, внешние ЭМИ, наводимые непосредственно на печатные проводники, на компоненты базового модуля и на провода ППТ и ППВ.

Исследование было проведено в соответствии с постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 и в соответствии с планом работ по выполнению Договора №13.G25.31.0008 от 07 сентября 2010 г. «Создание и производство технических средств радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС с целью модернизации технологической базы аэрологической сети Росгидромета».

### Литература

1. Иванов В.Э., Плохих О.В. Некоторые результаты разработки системы радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных платформ GPS-ГЛОНАСС. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. Санкт-Петербург: 2009, вып. 6 (тематический выпуск «Широкополосные сигналы и системы»), с. 66-74. ISSN 1993-8985.
2. Иванов В. Э., Фридзон М. Б., Ессяк С. П. Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств; под ред. В.Э. Иванова. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 596 с.

## БАЗОВАЯ СТАНЦИЯ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ «ПОЛЮС»

*О. В. Плохих, О.А.Черных, В. Э. Иванов*

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

## BASE STATION OF NAVIGATIONAL UPPER AIR SOUNDING SYSTEM

*O. V. Plokhikh, O.A.Chernykh, V. E. Ivanov*

Системы радиозондирования атмосферы (СР), построенные на принципе слежения за аэрологическими радиозондами (АРЗ), запускаемыми с помощью шаров-зондов в свободную атмосферу, являются основным средством получения аэрологической информации в нашей стране и за рубежом для обеспечения краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды, предупреждения природных и техногенных катастроф, оценки их последствий и выработке

рекомендаций для уменьшения экологического ущерба в интересах народного хозяйства, а также для предсказания изменчивости климата в глобальном масштабе [1].

СР состоит из наземной базовой станции слежения (БС), антенной системы и запускаемого в свободный полет АРЗ типа МРЗ-Н1. СР «Поллюс» использует сигналы СРНС ГЛОНАСС и GPS [2]. Структурная схема БС показана на рис.1. Сигналы АРЗ принимаются антенно-фидерной системой (АФС)

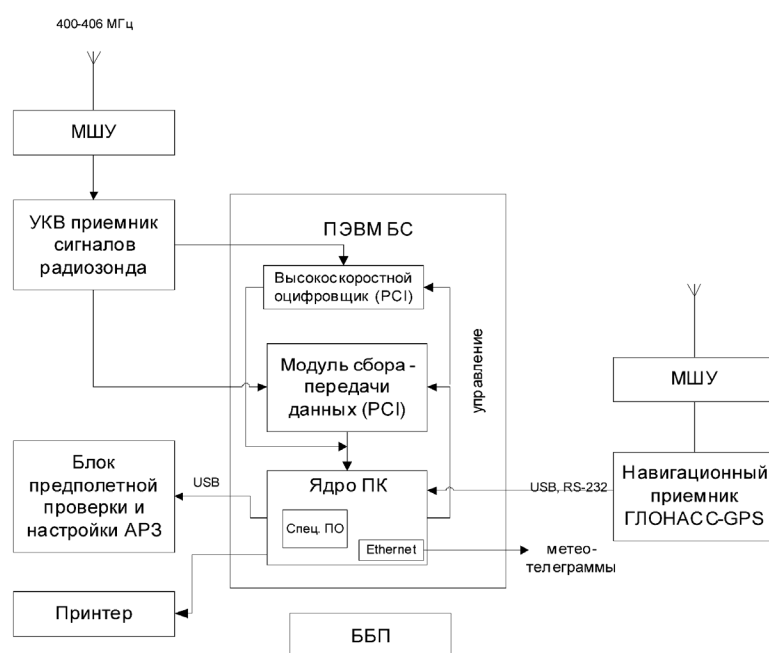


Рис. 1